



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Patentschrift
⑯ DE 196 00 491 C 1

⑯ Int. Cl. 5:
G 01 B 9/02
G 01 B 11/14
G 01 J 9/02
G 02 B 27/00

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:
International Business Machines Corp., Armonk,
N.Y., US

⑯ Vertreter:
Dreiss, Fuhlendorf, Stelmle & Becker, 70188
Stuttgart

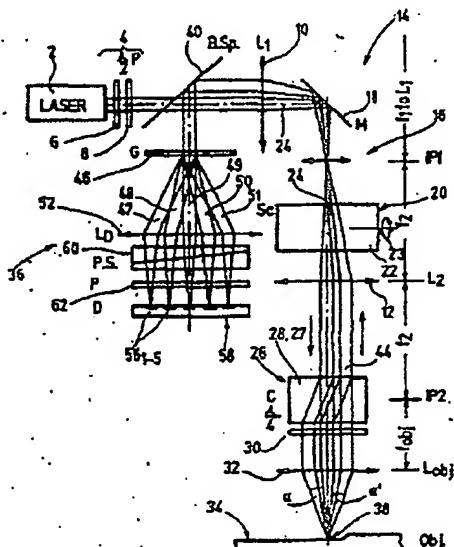
⑯ Erfinder:
Makosch, Günter, Dipl.-Phys., 71089 Sindelfingen,
DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
US 43 58 201
US 42 98 283
US-Z: IBM Technical Disclosure Bulletin, Vol. 37,
No. 02B, Febr. 1994, S. 431, 432;

⑯ Interferometrische Meßeinrichtung

⑯ Die Erfindung betrifft eine Interferometrische Meßeinrichtung, umfassend eine Aufspaltvorrichtung (28) zum Zerlegen eines zur Messung zu verwendenden Bündels interferenzfähigen Lichts in zwei zueinander versetzte Teilbündel, aus jeweils linear polarisiertem Licht mit zueinander senkrechter Polarisationsrichtung, ein der Aufspaltvorrichtung (28) nachgeordnetes optisches Element (11), zum Fokussieren der Teilbündel auf der zu untersuchenden Objektoberfläche (34), eine Sammellinse (27) zum Vereinigen der beiden von der Objektoberfläche reflektierten Teilbündel, eine Sensorvorrichtung (38) zum Ermitteln der Phasenbeziehung zwischen den senkrecht zueinander polarisierten Lichtkomponenten der beiden Teilbündel, aus deren Veränderung auf die Topologie der bestrahlten Objektoberfläche geschlossen werden kann; um die Nachteile einer zur Messung erforderlichen, hochpräzisen x,y-Tische zu vermeiden, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, die Meßeinrichtung so auszubilden, daß in Lichtaufrichtung vor der Aufspaltvorrichtung (28) ein einen Zwischenbildraum (16) erzeugendes System (11) angeordnet ist, innerhalb dessen eine einen Parallelversatzwirkende steuerbare Ablenkvorrichtung (20) vorgesehen ist, so daß das zur Messung zu verwendende Bündel interferenzfähigen Lichts in einem vom Parallelversatz abhängigen Einfallswinkel auf die Aufspaltvorrichtung (28) gelenkt und somit an anderer Stelle auf der Objektoberfläche fokussiert wird.

DE 196 00 491 C 1



DE 196 00 491 C1

1
Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine interferometrische Meßeinrichtung mit einer Aufspaltvorrichtung zum Zerlegen eines zur Messung zu verwendenden Bündel: interferenzfähigen Lichts in zwei zueinander versetzte Teilbündel aus jeweils linear polarisiertem Licht mit zueinander senkrechter Polarisationsrichtung, einem der Aufspaltvorrichtung in Einstrahlrichtung nachgeordneten optischen Element zum Fokussieren beider Teilbündel in einem Punkt auf der zu untersuchenden Objektoberfläche, einer Sammelforrichtung zum Vereinigen der beiden von der Objektoberfläche reflektierten Teilbündel und einer Sensorvorrichtung zum Ermitteln der Phasenbeziehung zwischen den senkrecht zueinander polarisierten Lichtkomponenten im vereinigten Bündel, aus deren Veränderung auf die Topographie der beststrahlten Objektoberfläche geschlossen werden kann.

Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Verfahren zur interferometrischen Messung von Höhendifferenzen an einer Objektoberfläche, das bei Verwendung der vorstehend erwähnten Meßeinrichtung angewandt wird, und bei dem ein Bündel interferenzfähigen Lichts in zwei zueinander versetzte Teilbündel aus linear polarisiertem Licht mit zueinander senkrechter Polarisationsrichtung zerlegt wird, beide Teilbündel in einem Punkt auf der zu untersuchenden Objektoberfläche fokussiert werden und beide von der Objektoberfläche reflektierten Teilbündel wieder zu einem Bündel vereinigt und zur Bestimmung der Phasenbeziehung zwischen den senkrecht zueinander polarisierten Lichtkomponenten im vereinigten Bündel einer Sensorvorrichtung zugeführt werden, wobei im Zuge der Messung die Objektoberfläche abgetastet wird.

Eine interferometrische Meßeinrichtung sowie ein Meßverfahren der vorstehend beschriebenen Art sind aus der US-Patentschrift 4,358,201 bekannt. Die Meßeinrichtung bzw. das Verfahren dienen zur Charakterisierung von Wafern, Spiegeln, Magnetköpfen, sie werden aber auch zur Bestimmung latenter Bilder ir. Fotoresist zur Kontrolle photolithographischer Prozeßparameter eingesetzt. Die Meßeinrichtung wird insbesondere bei Fertigungsprozessen zur Charakterisierung und Messung von Oberflächen eingesetzt; es können eindeutige Stufenhöhenmessungen und Profilhöhenmessungen sowohl im Nanometerbereich als auch im Bereich mehrerer hundert Mikrometer durchgeführt werden.

Die Messung beruht auf einer scannenden Abtastung der zu untersuchenden Oberfläche, die durchgeführt wird, indem das Objekt mittels eines hochpräzisen, numerisch gesteuerten xy-Tisches in der Objektabteile verfahren wird, während das fokussierte Meßbündel ortsfest bleibt. Die bekannte Meßeinrichtung sowie das bekannte Verfahren stellen jedoch hohe Anforderungen an die Führungsebene, den Gleitlauf und die Geschwindigkeit des Tisches, so daß die Herstellung und der Einsatz einer derartigen Meßeinrichtung mit sehr hohen Kosten verbunden ist. Systematische Führungseehler, die entlang des Verschiebebereichs reproduzierbar auftreten, können verhältnismäßig einfach durch eine Referenzmessung eliminiert werden. Dazu wird mit Hilfe eines ebenen Referenzspiegels als Meßobjekt einmal die Fehlercharakteristik des Tisches bestimmt, um diese bei Folgemessungen zur Korrektur der Meßwerte zu verwenden. Somit kann der Einfluß systematischer Führungseehler zwar reduziert werden, eine Korrektur unregelmäßig auftretender Führungseehler ist jedoch nicht

möglich.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine interferometrische Meßeinrichtung sowie ein Verfahren, der eingangs beschriebenen Art zu schaffen, die auf wirtschaftlichere Weise herstellbar bzw. anwendbar sind als die bekannte Meßeinrichtung bzw. das bekannte Verfahren.

Diese Aufgabe wird einerseits durch eine interferometrische Meßeinrichtung der genannten Art gelöst, die erfundungsgemäß so ausgebildet ist, daß in Einstrahlrichtung vor der Aufspaltvorrichtung ein einen Zwischenfokus erzeugendes optisches System angeordnet ist, innerhalb dessen eine einen Parallelversatz bewirkende steuerbare Ablenkvorrichtung vorgesehen ist, so daß das zur Messung zu verwendende Bündel interferenzfähigen Lichts unter einem von diesem Parallelversatz abhängigen Einfallswinkel auf die Aufspaltvorrichtung gelangt und somit an veränderbarer Stelle auf der Objektoberfläche fokussiert wird.

Durch die parallele Versetzung des entlang der optischen Achse laufenden Lichtbündels innerhalb des optischen Systems, das einen Zwischenfokus erzeugt, läuft das Lichtbündel nach Verlassen des optischen Systems unter einem schrägen Winkel zur optischen Achse und trifft somit schräg unter einem, vom Parallelversatz abhängigen Einfallswinkel auf die Aufspaltvorrichtung auf. Hierdurch werden aber die zwei von der Aufspaltvorrichtung gebildeten Teilbündel in Abhängigkeit von dem Einfallswinkel und damit von dem innerhalb des genannten optischen Systems erzeugten Parallelversatz an anderer bzw. veränderbarer Stelle, jedoch mit gleichbleibenden Einfallswinkeln, auf der Objektoberfläche fokussiert. Es wurde daher erfundungsgemäß die Möglichkeit geschaffen, bei der Meßeinrichtung der eingangs genannten Art, die Scanbewegung des Tisches durch eine Scanbewegung des Meßpunkts auf der Objektoberfläche zu ersetzen, wobei die Scanbewegung durch einen steuerbaren Parallelversatz des Lichtbündels in dem erwähnten optischen System vor der Aufspaltvorrichtung erreicht wird. Mit der Erfindung werden die Herstellungs- und Betriebskosten der interferometrischen Meßeinrichtung erheblich reduziert, da ein hochpräziser xy-Tisch nicht mehr erforderlich ist, sondern ein einfacher, verhältnismäßig ungenauer Tisch zum Anfahren der Meßpositionen ausreichend ist.

Die Aufgabe wird des Weiteren durch ein Verfahren der eingangs genannten Art zur interferometrischen Messung von Höhendifferenzen bei einer Objektoberfläche gelöst, das dadurch gekennzeichnet ist, daß das Bündel vor seiner Zerlegung ein einen Zwischenfokus erzeugendes optisches System durchläuft, innerhalb dessen eine einen Parallelversatz bewirkende steuerbare Ablenkvorrichtung vorgesehen ist, so daß das zur Messung zu verwendende Bündel interferenzfähigen Lichts unter einem von diesem Parallelversatz abhängigen Einfallswinkel auf die Aufspaltvorrichtung gelangt und somit an veränderbarer Stelle auf der Objektoberfläche fokussiert wird.

Mit dem erfundungsgemäßen Verfahren wird also in entsprechender Weise eine extremen Anforderungen an die Genauigkeit genügende Tisch- bzw. Objektführung nicht mehr erforderlich; die Scanbewegung des Tisches wird durch eine Scanbewegung des Meßpunkts auf der Objektoberfläche ersetzt.

Aus dem IBM "Technical Disclosure Bulletin", Vol. 37, Nr. 02B vom Februar 1994, S. 431 war es zwar bekannt, bei einer interferometrischen Profilhöhenmeßeinrichtung zwei durch Aufspaltung eines Lichtmeßbündels ge-

DE 196 00 491 C1

3

wonnene, senkrecht zueinander polarisierte Teilbündel jeweils parallel zueinander zu versetzen, um eine Ablenkung und damit eine Scanbewegung der beiden voneinander beabstandeten fokussierten Lichtbündel auf der Objektoberfläche zu erreichen. Die grundlegenden Meßeinrichtung und das entsprechende Meßverfahren unterscheiden sich jedoch grundlegend von der gattungsgemäßen Meßeinrichtung und dem gattungsgemäßen Verfahren der vorliegenden Erfindung; sie sind im einzelnen in der Veröffentlichung von G. Makosch in der Zeitschrift SPIE Vol. 1009: Surface Measurement and Characterization (1988), S. 244–253, beschrieben. Das Meßprinzip sowie die physikalischen Grundlagen dieser "Zweistrahl-Meßeinrichtung" sind sowohl in dieser Veröffentlichung (insbesondere S. 244, 245) wie auch in der US-Patentschrift 4,298,283 beschrieben und es wird hinsichtlich der Offenbarung ausdrücklich auf beide Druckschriften Bezug genommen. Bei die in bekannten "Zweistrahl-Meßeinrichtungen" ist die ermittelbare Phasenbeziehung der beiden Meßstrahlen, die von Objektoberflächenbereichen kommen, die in Lichtaufrichtung den Höhenunterschied h aufweisen, gegeben durch

$$\varphi_M = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot h$$

(λ = Wellenlänge des verwandten Laserlichts). Eine eindeutige Zuordnung der ermittelbaren Phasenbeziehung φ_M zur Höhe h einer Stufe oder Versetzung in der Objektoberfläche läßt sich jedoch nur innerhalb des Bereichs 0 bis 2π erreichen, wie unmittelbar aus der angegebenen Beziehung folgt, aber auch in den angegebenen Druckschriften im einzelnen beschrieben ist. Mit der "Zweistrahl-Meßeinrichtung" lassen sich eindeutig also nur diejenigen Höhenunterschiede ermitteln, deren Höhe h geringer ist als die Hälfte der Wellenlänge der verwendeten Meßstrahlung.

Die gattungsbildende Meßeinrichtung bzw. das gattungsbildende Meßverfahren, von dem die vorliegende Erfindung ausgeht, stellt bereits eine Verbesserung der vorstehend beschriebenen "Zweistrahl-Meßeinrichtungen" dar. Die ermittelbare Phasenbeziehung bzw. Phasendifferenz der beiden senkrecht zueinander polarisierten, jedoch in einem Punkt der Objektoberfläche fokussierten Teilbündel ist gegeben durch

$$\varphi_M = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot h(1 - \cos\theta)$$

wobei der Winkel θ den Einfallswinkel des in der Aufspaltvorrichtung gebildeten außordentlichen Teilbündels auf der Objektoberfläche bezeichnet. Aus dieser Beziehung ergibt sich, daß die eindeutig bestimmbare Höhendifferenz ($\varphi_M \leq 2\pi$) gegeben ist durch

$$h = \frac{\lambda}{2(1 - \cos\theta)}$$

4

Dieser eindeutig messbare Höhenunterschied h läßt sich also durch geeignete Wahl des Winkels θ theoretisch beliebig wählen, so daß ein Meßbereich von einigen Nanometern bis hin zu mehreren hundert Mikrometern durch geeignete Wahl der Aufspaltvorrichtung und/oder der Brennweite des optischen Elements zum Fokussieren der Teilbündel auf der Objektoberfläche gewählt werden kann. Eine entsprechende Übertragung aus dem "Technical Disclosure Bulletin" bei der bekannten "Zweistrahl-Meßeinrichtung" vorgesehenen Ablenkvorrichtung auf die gattungsgemäße Meßeinrichtung ist nicht möglich. Würde die Ablenkvorrichtung etwa vor der Aufspaltvorrichtung angeordnet werden, so würden die beiden Teilbündel zwar mit veränderten Einfallswinkeln aber gleichwohl im selben Punkt der Objektoberfläche fokussiert werden, eine scannende Bewegung wäre damit nicht erreichbar. Auch eine Anordnung zwischen der Aufspaltvorrichtung und dem optischen Element zum Fokussieren der Teilbündel auf der Objektoberfläche würde zu keinem Versatz der Teilbündel auf der Objektoberfläche führen. Eine Anordnung der Ablenkvorrichtung zwischen dem Fokussierungselement und der Objektoberfläche ist nicht realisierbar, da hier lediglich ein Arbeitsabstand von etwa 1 bis 4 mm zur Verfügung steht.

Erst durch die erfundungsgemäße Anordnung des einen Zwischenfokus erzeugenden optischen Systems vor der Aufspaltvorrichtung und durch die Parallelversetzung des Meßbündels innerhalb dieses optischen Systems läßt sich eine scannende Bewegung des Meßpunkts mit unveränderten Einfallswinkeln der beiden Teilbündel auf der Objektoberfläche erreichen.

Das den Zwischenfokus erzeugende optische System kann in besonders einfacher Weise ausgebildet werden, indem es ein erstes fokussierendes Element mit einer ersten Brennweite und ein zweites fokussierendes Element mit einer zweiten Brennweite aufweist und indem die fokussierenden Elemente in Lichtaufrichtung derart voneinander beabstandet sind, daß die hintere Brennebene des ersten Elements mit der vorderen Brennebene des zweiten Elements zusammenfällt. Wenn sich die Ablenkvorrichtung in ihrer Ausgangsposition befindet, kann das Lichtmeßbündel den so gebildeten Zwischenabschnitt des optischen Systems entlang seiner optischen Achse ungehindert durchlaufen und zur Aufspaltvorrichtung gelangen. Wenn die Ablenkvorrichtung betätigt wird und dabei ein Parallelversatz des Meßbündels herbeigeführt wird, so wird das Meßbündel durch das zweite fokussierende Element derart abgelenkt, daß es schräg zur optischen Achse der Meßeinrichtung verläuft und unter einem von Null verschiedenen Einfallswinkel auf die Aufspaltvorrichtung auftaucht.

Das den Zwischenfokus erzeugende optische System ist vorzugsweise derart angeordnet, daß die hintere Brennebene des zweiten fokussierenden Elements mit der vorderen Brennebene des der Aufspaltvorrichtung nachgeordneten optischen Elements zum Fokussieren der Teilbündel zusammenfällt. Auf diese Weise wird erreicht, daß der herbeizuführende Versatz des Meßpunkts auf der Objektoberfläche in eindeutiger Weise vom Parallelversatz des Meßbündels innerhalb des optischen Systems abhängt.

Des Weiteren wird vorgeschlagen, die Ablenkvorrichtung etwa am Ort der zusammenfallenden Brennebenen der fokussierenden Elemente des den Zwischenfokus erzeugenden optischen Systems anzordnen.

Die Ablenkvorrichtung weist vorzugsweise eine um eine senkrecht zur optischen Achse verlaufende Achse

DE 196 00 491 C1

5

kippbare planparallele Glasplatte auf, wobei aber auch ein anderes für die verwendete Meßstrahlung durchlässiges Material verwendet werden kann. Die Ablenkvorrichtung kann in an sich beliebiger Weise betätig werden, wobei es sich als ganz besonders vorteilhaft erwiesen hat, die Ablenkvorrichtung mittels eines galvanometrischen Scanners anzusteuern. Um einen Versatz der Meßpunkte in X- und Y-Richtung auf der Objektoberfläche zu erreichen, können zwei Ablenkvorrichtungen der obigen Art mit senkrecht zueinander stehenden Drehachsen innerhalb des optischen Systems verwendet werden.

Die erwähnte Sensorvorrichtung kann wie in der Veröffentlichung von G. Makosch in "Surface Measurement and Characterization" bzw. wie in der US-Patentschrift 4,298,283 beschrieben ausgebildet sein, d. h. sie kann in einzigem Sensormittel zur Messung einer Intensität aufweisen. Hierbei wird zur Ermittlung der Phasenbeziehung der beiden senkrecht zueinander polarisierten Komponenten eine Sequenz dreier aufeinanderfolgender Messungen durchgeführt, und zwar bei drei verschiedenen, durch einen Phasenmodulator vorgegebenen Phasendifferenzen, wobei aus den gemessenen Intensitäten rechnerisch die Phasenbeziehung ermittelt wird. Demgegenüber wird in Weiterbildung der Erfahrung vorgeschlagen, daß die Sensorvorrichtung zur Durchführung des aus der EP 0 561 015 A1 bekannten Phasenmeßprinzips ausgebildet ist und ein Mittel zum Aufspalten des wiedervereinigten Bündels in wenigstens drei Teilbündel sowie eine phasenschiebende Komponente umfaßt welche jedes der drei Teile findet mit einer anderen Phasendifferenz beaufschlagt. Durch die Anwendung dieses Phasenmeßprinzips werden die wenigstens drei zur Ermittlung der Phasenbeziehung erforderlichen Intensitätswerte nicht mehr sequentiell, sondern durch Verwendung der phasenschiebenden Komponente gleichzeitig ermittelt. Die hierfür erforderliche Meßzeit wird dann von etwa 3 Millisekunden auf 3 Mikrosekunden verkürzt.

In ganz besonders vorteilhafter Weiterbildung der Erfahrung umfaßt die Meßeinrichtung eine Autofokusvorrichtung. Bei einer vorteilhaften Ausführung strom der Erfahrung weist die Autofokusvorrichtung eine schneidenförmige Blende auf, die im Brennpunkt einer abbildenden Komponente angeordnet ist, und einen bezüglich der optischen Achse der abbildenden Komponente auf der Seite der Blende angeordneten Lichtsensor sowie einen auf der der Blende gegenüberliegenden Seite angeordneten Lichtsensor umfaßt. Wenn sich die Objektebene unterhalb (oberhalb) der Fokusblende befindet, d. h. zu weit (zu nahe) vom Fokussierungselement angeordnet ist, so wird ein ausgekoppeltes Strahlbündel nicht mehr im Brennpunkt der erwähnten abbildenden Komponente fokussiert, sondern davor oder dahinter, d. h. vor oder hinter der schneidenförmigen Blende, was zu einer teilweisen Abschattung des einen oder anderen Lichtsensors durch die Blende führt.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfahrung, insbesondere der Aufspaltvorrichtung, der Ablenkvorrichtung, der Sensorvorrichtung sowie der Autofokusvorrichtung ergeben sich aus den beigelegten Patentansprüchen sowie der zeichnerischen Darstellung und nachfolgenden Beschreibung einer vorteilhaften Ausführungsform einer erfahrungsgemäßen Meßeinrichtung. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine Prinzipskizze einer interferometrischen Meßeinrichtung mit den Merkmalen nach dem Patentanspruch 1;

6

Fig. 2 eine Prinzipskizze des Strahlengangs beginnend bei der optischen Ablenkvorrichtung, wobei der Strahlengang zur Darstellung der Fig. 1 um 90° gedreht wurde;

Fig. 3 eine Prinzipskizze des Strahlengangs bei der Aufspaltvorrichtung, wobei der rechte Teil der Fig. 3 der Ansicht der Fig. 1 und der linke Teil der Fig. 3 der Ansicht der Fig. 2 entspricht; und

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung des Prinzips der Autofokusvorrichtung.

Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze einer interferometrischen Meßeinrichtung. Eine Laserlichtquelle 2 erzeugt interferenzfähiges Laserlicht, das zunächst einer Lichtschwächungsvorrichtung 4 zugeführt wird, die eine sog. $\lambda/2$ -Platte 6 aus einem doppelbrechenden Material und einen Polarisator 8 umfaßt. Die $\lambda/2$ -Platte 6 zerlegt den Laserstrahl in zwei senkrechte Polarisationskomponenten und erzeugt zwischen diesen einen Gangunterschied von π . Durch geeignete Drehung der $\lambda/2$ -Platte 6 zu dem starr angeordneten Polarisator 8 läßt sich eine gewünschte Intensität des Laserstrahls einstellen, wobei der Laserstrahl linear polarisiert ist und so durch ein fokussierendes Element L1 in Form einer Sammellinse 10 hindurchtritt. Das fokussierende Element L1 bildet zusammen mit einem zweiten fokussierenden Element L2 in Form einer Sammellinse 12 ein optisches System 14, das einen Zwischenabschnitt 16 mit einem Zwischenfokus definiert. Ein Spiegel 18 dient dabei lediglich der Umlenkung des optischen Strahlengangs. Die fokussierenden Elemente L1, L2 sind so angeordnet, daß die in Lichtaufrichtung hintere Brennebene IP1 des ersten fokussierenden Elements L1 mit der vorderen Brennebene des zweiten fokussierenden Elements L2 zusammenfällt, so daß dort ein Zwischenfokus erzeugt wird. Etwa im Bereich der zusammenfallenden Brennebenen ist eine Ablenkvorrichtung 20 in Form einer kippbaren planparallelen Glasplatte 22 vorgesehen, deren Kippachse 23 senkrecht zur optischen Achse 24 des optischen Elements 14 verläuft. Die kippbare Glasplatte 22 ist von einem nicht dargestellten galvanometrischen Scanner ansteuerbar. Dem optischen System 14 ist eine Aufspaltvorrichtung 26 in Lichtaufrichtung nachgeordnet, die eine planparallele Platte 28 aus einem doppelbrechenden Material, wie Kalkspat, umfaßt. Die planparallele Platte 28 befindet sich etwa in der in Lichtaufrichtung hinteren Brennebene IP2 des zweiten abbildenden Elements L2. Ihr nachgeordnet ist eine $\lambda/4$ -Platte 45 vorgesehen.

Der Aufspaltvorrichtung 26 nachgeordnet ist ein optisches Element Lobj in Form einer Objektivlinse 32 mit einer Brennweite fobj vorgesehen. Die Objektivlinse 32 ist dabei im Abstand fobj von der Brennebene IP2 des zweiten fokussierenden Elements L2 angeordnet. Die zu untersuchende Objektoberfläche 34 wird zur Durchführung einer Messung etwa im Brennweitenabstand fobj von der Objektivlinse 32 angeordnet. Die Meßeinrichtung umfaßt des Weiteren eine insgesamt mit dem Bezugssymbol 36 bezeichnete und noch näher zu erläuternde Sensorvorrichtung.

Wenn die Ablenkvorrichtung 20 so positioniert ist, daß die Oberflächen der planparallelen Glasplatte 22 senkrecht zur optischen Achse 24 des Systems sind, verläuft das von der Laserlichtquelle 2 ausgehende Laserlichtbündel entlang der optischen Achse 24 und trifft senkrecht auf die Oberfläche der Aufspaltvorrichtung 26 auf. Durch die Kalkspatkristall-Platte 28 wird der Laserstrahl in zwei zueinander parallele Teilbündel s10 und s20 zerlegt, die senkrecht zueinander polarisiert

DE 196 00 491 C1

7

8

sind, wie im rechten Teil der Fig. 3 im einzelnen dargestellt ist. Während das bei senkrechter Inzidenz einfallende erste Teilbündel s_{10} die Kalkspatkristall-Platte 28 als ordentlicher Strahl oder Bündel unabgelenkt passiert, wird das zweite Teilbündel s_{20} als außerordentlicher Strahl oder Bündel seitlich in der Ebene des Haupt schnitts des Kristalls, die mit der Zeichenebene zusammenfällt, abgelenkt. Beide Teilbündel s_{10} und s_{20} verlassen die Kalkspatkristall-Platte 28 aber parallel zur Ein fallsrichtung des einfallenden Bündels. Die Teilbündel s_{20} und s_{10} werden daher anschließend im Brennpunkt 38 der Objektivlinse 32 fokussiert. Da das ordentliche Teilbündel s_{10} , wie vorstehend beschrieben wurde, ko axial mit der optischen Achse 24 auf die Oberfläche der Objektivlinse 32 gerichtet ist, trifft dieses senkrecht im Brennpunkt 38 der Objektivlinse 32 auf die Objektoberfläche 34 auf. Das außerordentliche Teilbündel trifft hingegen unter einem Einfallwinkel α im Brennpunkt 38 der Objektivlinse 32 auf der Objektoberfläche 34 auf. Demgemäß wird das ordentliche Teilbündel s_{10} in sich selbst zurückreflektiert, was durch die unterbrochenen Pfeile in der Fig. 3 angedeutet ist. Das unter dem Winkel α auf die Objektoberfläche 34 auftreffende außerordentliche Teilbündel s_{20} wird in einem dem Einfallwinkel α entsprechenden Reflexionswinkel α' reflektiert und gelangt als in der Fig. 3 rechts dargestellter Strahl wieder zu der Kalkspatkristall-Platte 28. Dadurch, daß der Strahlengang sowohl auf dem Hinweg als auch bei der Reflexion durch die Viertelwellenlängenplatte 30 führt, findet durch die Drehung der Polarisationsebenen zwischen dem ordentlichen und dem außerordentlichen Teilbündel ein Rollentausch statt. Dabei wird das ursprünglich ordentliche Teilbündel zum außerordentlichen und umgekehrt. Das reflektierte und vormals außerordentliche Teilbündel s_{20} passiert als ordentliches Teilbündel s_{20} die Kalkspatkristall-Platte 28 ungebremst. Das reflektierte vormals ordentliche Teilbündel s_{10} wird als außerordentliches Teilbündel s_{10} in der Kalkspatkristall-Platte 28 abgelenkt und hierbei mit dem ordentlichen Teilbündel s_{20} vereinigt. Da die reflektierten Teilbündel die Kalkspatkristall-Platte 28 innerhalb des Winkels passieren wie die einfallenden Teilbündel, entsteht zwischen ihnen ein betragsmäßig gleicher Gangunterschied mit entgegengesetztem Vorzeichen, so daß sich die beim Durchgang durch die Platte zwischen den Teilbündeln ergebenden Weglängen- und damit Phasendifferenzen exakt kompensieren.

Das wiedervereinigte Bündel 44 durchläuft das optische System 14 mit der Ablenkvorrichtung 20 in eingegesetzter Richtung und wird schließlich durch einen Teilerspiegel 40 in die Sensorvorrichtung 36 ausgekoppelt, wo dann durch eine noch zu erläuternde Intensitätsmessung die Bestimmung der Phasenbeziehung der beiden Polarisationskomponenten erfolgt. Durch die erfundungsgemäße Ablenkung mittels einer kippbaren Glasplatte werden keine unerwünschten zusätzlichen Phasenstörungen verursacht, und es wird auch kein Versatz der Laserstrahlbündel in der Sensorvorrichtung bzw. am Ort eines Phasensensors bewirkt.

Fig. 2 zeigt eine Prinzipskizze des Strahlengangs; bei der Meßeinrichtung nach Fig. 1, wobei der Strahlengang um 90° verdreht quer zur Ansicht der Fig. 1 betrachtet ist. Die Ablenkvorrichtung 20 ist um ihre Achse 23 verkippt dargestellt. Der gestrichelt dargestellte Strahlengang wird bei senkrechter Anordnung der Ablenkvorrichtung 20 zur optischen Achse 24 des Systems durchlaufen. Bei schrägem Auftreffen des Bündels auf die Oberfläche der planparallelen Platte 22 (siehe auch

Fig. 3, linke Darstellung) wird das Bündel beim Durchgang durch die Platte 22 zum Einfallslot hingebrochen und beim Austritt aus der Platte 22 vom Einfallslot weg gebrochen, so daß das Bündel parallelversetzt zu dem gestrichelten Strahlenverlauf auf die Sammellinse 12 trifft und somit auf den Brennpunkt der Brennebene IP2 der Sammellinse 12 abgelenkt wird. Da die Objektivlinse 32 so angeordnet ist, daß ihre rückwärtige Brennebene mit der Brennebene IP2 der Sammellinse 12 zusammenfällt, verlassen die (in der Darstellung der Fig. 2 (links) verdeckt hintereinander verlaufenden) Teilbündel s_{20} und s_{10} die Objektivlinse 32 in einer Ebene parallel zur optischen Achse 24 und werden im Oberflächenpunkt B auf der Objektoberfläche 34 fokussiert. Ein Verschwenken der planparallelen Glasplatte 22 und der dadurch erzielte Parallelversatz beim Austritt aus der Platte 22 führen somit zu einem Versatz A-B auf der Objektoberfläche 34. Durch Verkippen der Ablenkvorrichtung 20 läßt sich also eine scannende Bewegung des Meßpunkts A, B auf der Objektoberfläche 34 erreichen, bei der die Einfallswinkel des außerordentlichen Lichtbündels s_{10} und des ordentlichen Lichtbündels s_{10} auf der Objektoberfläche nicht verändert werden.

Wiederum bezugnehmend auf die Fig. 1 und 3 zeigt sich, daß die Aufspaltvorrichtung 26 zugleich als Sammellvorrichtung 27 zum Vereinigen der beiden Teilbündel s_{10} und s_{20} dient. Das zurücklaufende, vereinigte Bündel 44 wird schließlich durch den Teilerspiegel 40 zur Sensorvorrichtung 36 ausgekoppelt. Die Sensorvorrichtung 36 umfaßt eine Strahleitervorrichtung 46 in Form eines Gitters, durch welche das rücklaufende Bündel 44 in fünf Teilbündel 47, 48, 49, 50, 51 aufgespalten wird, wobei alle Teilbündel 47 bis 51 beide zueinander senkrechte Polarisationskomponenten mit gleicher Phasendifferenz enthalten. Die Teilbündel 47 bis 51 werden durch eine Sammellinse 52 als parallele Strahlenbündel auf lichtempfindliche Sensoren 56₁₋₅ eines Diodenzeilenarrays 58 fokussiert. Zwischen der Sammellinse 52 und dem Diodenzeilenarray 58 durchlaufen die parallelen Teilbündel 47 bis 51 eine phasenschiebende Komponente 60 und einen Polarisator 62. Die phasenschiebende Komponente 60 erzeugt Phasenunterschiede in den Teilbündeln 47 bis 51, wie dies an sich aus der EP 0 561 015 A1 bekannt ist. Die Phasendifferenzen innerhalb der Teilbündel 47 bis 51 unterscheiden sich jeweils um $\pi/2$, wobei das mittlere Teilbündel 49 eine Relativphase 0 bekommt, die Teilbündel 48, 51 eine relative Phasendifferenz von $\pm \pi/2$ und die Teilbündel 47, 50 eine relative Phasendifferenz von $\pm \pi$ gegenüber dem Teilbündel 49 bekommen. Es können nun fünf verschiedene Intensitäten zur selben Zeit gemessen und unmittelbar ausgewertet werden. Der Polarisator 62 dient dazu, aus den senkrechten Polarisationskomponenten innerhalb eines jeweiligen Teilbündels zwei interferenzfähige Komponenten zu gewinnen.

Anhand der in den Sensoren 56₁₋₅ gemessenen verschiedenen Intensitäten wird dann unter Verwendung eines Rechners die Phasenbeziehung der beiden reflektierten Teilbündel mit zueinander senkrechter Polarisationsrichtung ermittelt und daraus eine relative Höhenänderung auf der Objektoberfläche 34 berechnet.

Schließlich zeigt Fig. 4 am Beispiel dreier Zustände die prinzipielle Wirkungsweise einer in den Fig. 1 und 2 nicht dargestellten Autofokusvorrichtung 64, die an geeigneter Stelle unter Verwendung eines Teilerspiegels in den Strahlengang der Meßeinrichtung einkoppelbar ist. Die Autofokusvorrichtung 64 umfaßt eine abbildende Komponente 66 in deren Brennebene bzw. in deren

DE 196 00 491 C1

9

Brennpunkt 68 eine schneidenförmige Blende 70 mittels eines nicht dargestellten Feinstellelements positioniert ist. Wenn die Objektebene B unter die Fokusebene 0 verlagert wird (Fig. 4, links), verlagert sich der Scharfpunkt 72 gegenüber dem Brennpunkt 68 nach links, so daß die schneidenförmige Blende den in Fig. 4 links dargestellten schraffierten Bereich 74 abschattet. Wird die Objektebene A über die Fokusebene 0 verlagert (Fig. 4, rechts), so bewegt sich der Scharfpunkt 72' vom Brennpunkt 68 nach rechts, so daß der schraffierte Bereich 74' abgeschattet wird. Die Abschattung der einen oder der anderen Seite wird von einer Doppelfotodiode 76 wahrgenommen und als Defokussierung des Objekts gewertet. Über einen geeigneten Regelmechanismus können dann Objektebene und Fokusebene wieder zur Dek- 15

10

sen (10, 12) sind.

5. Interferometrische Meßeinrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die einen Parallelversatz bewirkende Ablenkovorrichtung (20) in Einstrahlrichtung etwa am Ort der zusammenfallenden Brennebenen (IP1) der fokussierenden Elemente (L1, L2) angeordnet ist.

6. Interferometrische Meßeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die einen Parallelversatz bewirkende Ablenkovorrichtung (20) eine um eine senkrecht zur optischen Achse (24) verlaufende Achse (23) kippbare planparallele Glasplatte (22) aufweist.

7. Interferometrische Meßeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ablenkovorrichtung (20) mittels eines galvanometrischen Scanners ansteuerbar ist.

8. Interferometrische Meßeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine einer Lichtquelle (2) nachgeordnete Lichtschwächungsvorrichtung (4) mit einer $\lambda/2$ -Platte (6) und einem Polarisator (8).

9. Interferometrische Meßeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufspaltvorrichtung (26) ein doppelbrechendes optisches Element (28) umfaßt und zugleich die Sammelfvorrichtung (27) bildet.

10. Interferometrische Meßeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorvorrichtung (36) ein Mittel zum Aufspalten des wieder vereinigten Bündels in wenigstens drei Teilbündel sowie eine phasenschiebende Komponente (60) umfaßt, welche jedes der drei Teilbündel mit einer anderen Phasendifferenz beaufschlagt.

11. Interferometrische Meßeinrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der phasenschiebende Komponente (60) ein Polarisator (62) und ein Sensormittel (561-5) nachgeordnet ist, welches zum Erfassen der Amplitude des durch Überlagerung der interferierenden Polarisationskomponenten entstehenden Signals innerhalb eines Teilbündels dient.

12. Interferometrische Meßeinrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensormittel (561-5) ein Diodenzeilenarray (58) ist.

13. Interferometrische Meßeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Autofokusvorrichtung (64).

14. Interferometrische Meßeinrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Autofokusvorrichtung (64) eine schneidenförmige Blende (70) aufweist, die im Brennpunkt (68) einer abbildenden Komponente (66) angeordnet ist und einen bezüglich der optischen Achse der abbildenden Komponente auf der Seite der Blende angeordneten Lichtsensor (76) sowie einen auf der der Blende gegenüberliegenden Seite angeordneten Lichtsensor (76) aufweist.

15. Interferometrische Meßeinrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die schneidenförmige Blende (70) mittels eines Feinstellelements an den Brennpunkt heranführbar ist.

16. Interferometrische Meßeinrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Lichtsensoren (76) zu einer Doppel-Photodiode gehören.

17. Interferometrische Meßeinrichtung nach einem

DE 196 00 491 C1

11

12

der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Autofokuseinrichtung (64) über ein Teilerlement, insbesondere einen Teilerspiegel, angekoppelt ist, wobei das Teilerlement zwischen dem optischen Element (L_{obj}) zum Fokussieren der Teilbündel auf der Objektoberfläche und der Sammellinse (27) zum Vereinigen der beiden von der Objektoberfläche reflektierten Teilbündel angeordnet ist.

18. Verfahren zur interferometrischen Messung von Höhendifferenzen an einer Objektoberfläche, bei dem ein Bündel interferenzfähigen Lichts mittels einer Aufspaltvorrichtung in zwei zueinander versetzte Teilbündel aus jeweils linear polarisiertem Licht mit zueinander senkrechter Polarisationsrichtung zerlegt wird, beide Teilbündel in einem Punkt auf der zu untersuchenden Objektoberfläche fokussiert werden und beide von der Objektoberfläche reflektierten Teilbündel wieder zu einem Bündel vereinigt und zur Bestimmung der Phasenverschiebung zwischen den senkrecht zueinander polarisierten Lichtkomponenten im vereinigten Bündel einer Sensorvorrichtung zugeführt werden, wobei im Zuge der Messung die Objektoberfläche abgetastet wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Bündel vor seiner Zerlegung ein einen Zwischenfokus erzeugendes optisches System durchläuft, innerhalb dessen eine einen Parallelversatz bewirkende steuerbare Ablenkvorrichtung vorgesehen ist, so daß das zur Messung zu verwendende Bündel interferenzfähigen Lichts unter einem von diesem Parallelversatz abhängigen Einfallswinkel auf die Aufspaltvorrichtung gelangt und somit an veränderbarer Stelle auf der Objektoberfläche fokussiert wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß durch den steuerbaren Parallelversatz des Bündels die Objektoberfläche abgescannt wird, ohne die Einfallswinkel der zwei Teilbündel auf der Objektoberfläche zu verändern.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

45

50

55

60

65

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer: DE 196 00 491 C1
Int. Cl. 6: G 01 B 9/02
Veröffentlichungstag: 17. Juli 1997

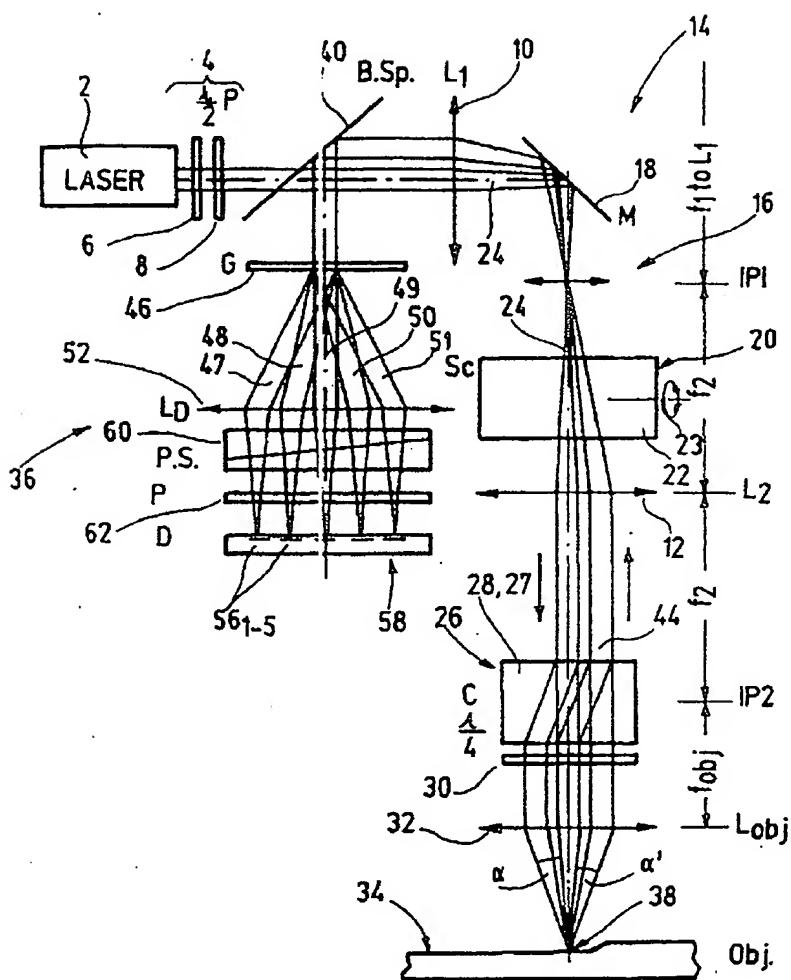


Fig. 1

702 129/341

BNSDOCID:<DE_19600491C1_I_>

BNS page 9

ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer: DE 196 00 491 C1
Int. Cl. 6: G 01 B 9/02
Veröffentlichungstag: 17. Juli 1997

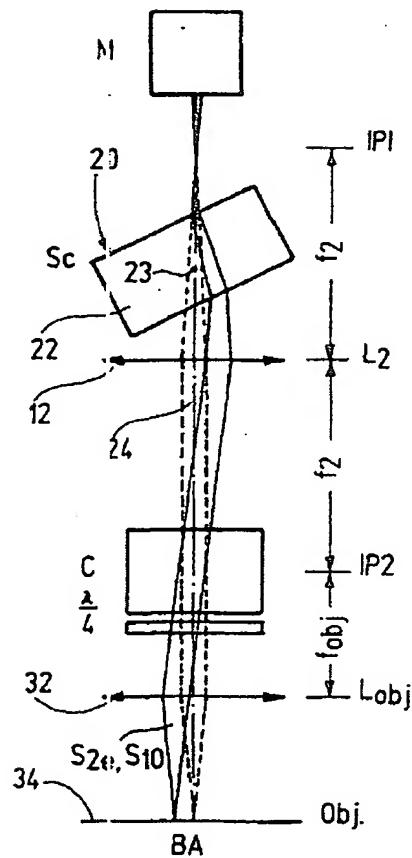


Fig. 2

702129/341

BNSDOCID: <DE_____19600491C1_L>

BNS page 10

ZEICHNUNGEN SEITE 3

Nummer: DE 198 00 491 C1
Int. Cl. 6: G 01 B 9/02
Veröffentlichungstag: 17. Juli 1997

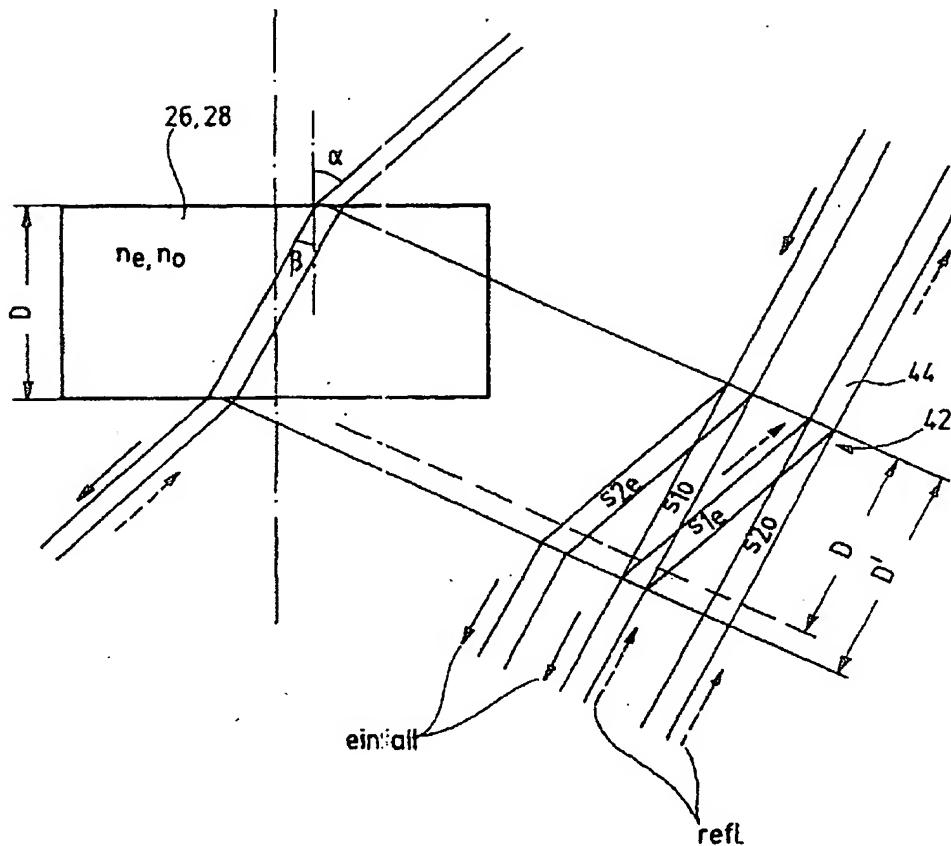


Fig. 3

702 129/341

BNSDOCID: <DE_19800491C1_L>

BNS page 11

ZEICHNUNGEN SEITE 4

Nummer: DE 196 00 491 C1
Int. Cl. 8: G 01 B 9/02
Veröffentlichungstag: 17. Juli 1997

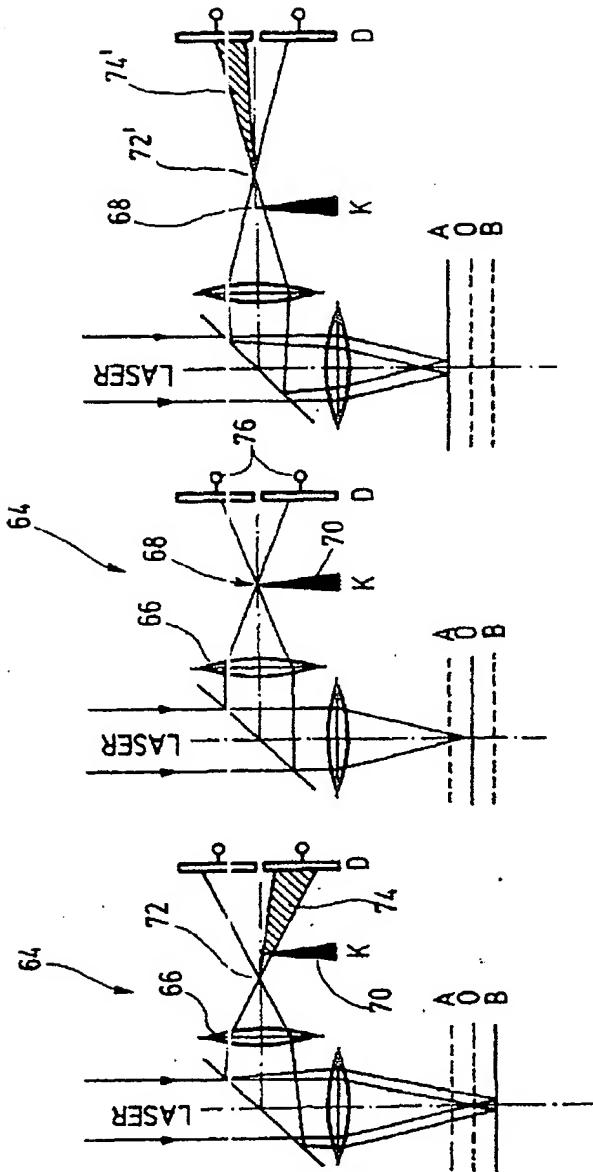


Fig. 4

702 129/341

DE 196 00 491 C1_1_>

SNS page 12

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning these documents will not correct the image
problems checked, please do not report these problems to
the IFW Image Problem Mailbox.**